

(19)



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 1 867 839 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

19.12.2007 Patentblatt 2007/51

(51) Int Cl.:

F01D 5/30 (2006.01)(21) Anmeldenummer: **06012298.3**(22) Anmeldetag: **14.06.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL BA HR MK YU(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

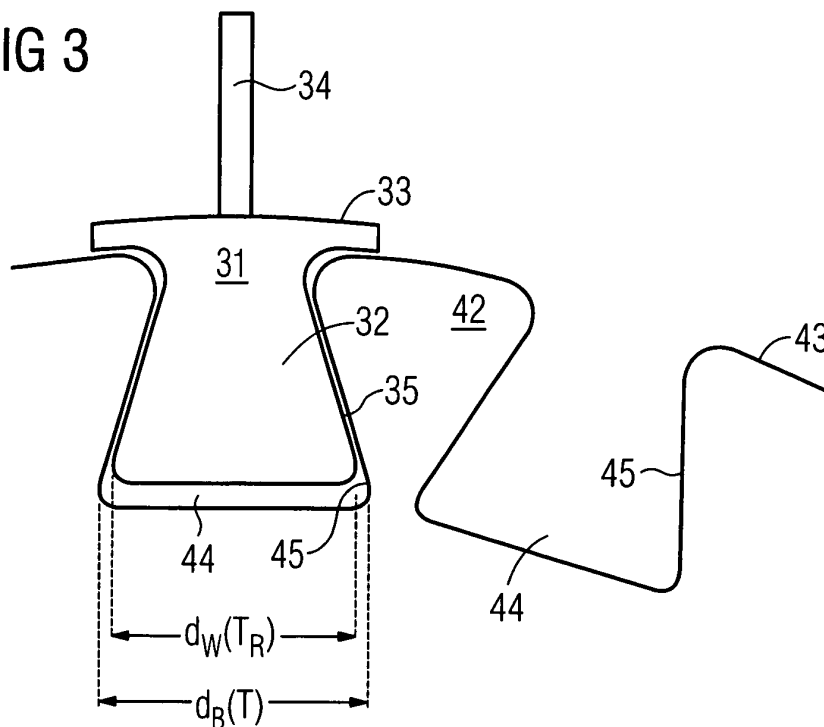
(72) Erfinder:

- **Ahmad, Fathi**
41564 Kaarst (DE)
- **Dankert, Michael**
63069 Offenbach (DE)

(54) **Turbinenrad für eine Strömungsmaschine und Verfahren zur Montage eines Turbinenrads für eine Strömungsmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Turbinenrad (41) für eine Strömungsmaschine (1) mit einem Laufrad (42) und einer Laufschaufel (31), wobei ein durch Übergangs- oder Presspassung besser an das Laufrad (42) angepasster Schaufelfuß (32) die Belastungen an den Kontaktflächen zwischen Laufrad (42) und Schaufelfuß (32) begrenzt. Hierdurch wird eine höhere, servicefreie Betriebszeit für das Turbinenrad (41) erreicht. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren für die Montage einer Lauf-

schaufel (31) mit Übermaß in ein Laufrad (42) zur Reduzierung der Materialermüdung im Bereich der Kontaktflächen von Laufschaufel (31) und Laufrad (42) durch eine Verbesserung des Laufschaufel (31)-Laufrad (42)-Kontaktes, wobei die Laufschaufel (31) durch Kühlen geschrumpft, bzw. die Befestigungsnut (44) im Laufrad (42) durch Erwärmen des Laufrads (42) erweitert wird. Nach dem Thermalisieren liegt eine Übergangspassung oder eine Presspassung vor.

FIG 3**EP 1 867 839 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Turbinenrad für eine Strömungsmaschine mit einem Laufrad und einer Laufschaufel. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Montage eines Turbinenrads für eine Strömungsmaschine.

[0002] In Strömungsmaschinen wird in einem Strömungskanal ein Strömungsmedium transportiert oder aus einem strömenden Strömungsmedium Energie gewonnen. Hierzu sind im Strömungskanal Schaufeln angeordnet. Zum Beispiel sind im Strömungskanal einer axialen Gasturbine in Strömungsrichtung aufeinander folgend abwechselnd aus Leitschaufeln gebildete Leitschaufelkränze und aus Laufschaufeln gebildete Laufschaufelkränze angeordnet. Die Leitschaufeln sind an einen Leitschaufelträger montiert, der eine begrenzende Wand des Heißgaskanals bildet. Die Leitschaufeln lenken in geeigneter Weise das Strömungsmedium auf die Laufschaufeln, die mit einem Rotor verbunden sind und in Rotation versetzt werden, so dass kinetische Energie des Strömungsmediums in Rotationsenergie umgewandelt wird.

[0003] Solche Schaufeln in Strömungsmaschinen sind häufig erheblichen mechanischen Belastungen ausgesetzt. In Gasturbinen entstehen bei der Verbrennung Gase mit Temperaturen von über 1500°C, die auf unter 1250°C abkühlen müssen, bevor sie mit hoher Geschwindigkeit auf die Schaufeln der Gasturbine treffen. Bei gleichzeitig hoher Temperatur und hoher Drehzahl kommt es zu einer hohen Materialbeanspruchung der Turbinenräder. Gerade an den Kontaktflächen zwischen Laufschaufel und Laufrad treten neben der Temperaturbelastung starke Belastungen durch Zentrifugalkräfte sowie Reibverschleiß auf. Abweichungen vom Nennwert bei der Fertigung von Laufschaufel und Laufrad müssen klein sein. Eine schlechte Passform erhöht die Gefahr der Materialermüdung. Es kann zum Versagen einer Laufschaufel kommen, wobei die Laufschaufel zerbricht oder Bruchstücke herausgelöst werden. Dies kann zu erheblichen Beschädigungen für in Strömungsrichtung nachfolgende Schaufeln oder zu einem Totalverlust der Gasturbine führen. Eine Materialermüdung ist somit zu überwachen. Je nach Geschwindigkeit der Prozesse kann es hierdurch zu einer signifikanten Reduzierung der Verfügbarkeit der Strömungsmaschine kommen, da regelmäßige Serviceintervalle zu Ausfallzeiten der Strömungsmaschine führen.

[0004] Die EP 1 058 772 B1 zeigt eine Turbinenschaufelbefestigung mit lokal ausbauchenden Bereichen, die sich in der Nähe der unteren Berührungsebenen des Schaufelfußes mit der Laufscheibe axial von der Scheibenfläche weg erstrecken. Dadurch sollen Spannungen in der Turbinenscheibe und im Schaufelfuß, die durch eine hohe Zentripetalbeschleunigung hervorgerufen werden, reduziert werden.

[0005] Nachteilig ist, dass dem Drehsystem durch die ausbauchenden Bereiche Masse hinzugefügt wird. Ins-

besondere bei Lastwechseln der Turbine tritt Reibverschleiß an den Kontaktflächen von Schaufelfuß und Laufrad auf.

[0006] Die EP 1 122 406 A2 zeigt gerundete bzw. konvexe Flächen der Befestigungsnut im Laufrad und des Schaufelfußes, wodurch Spannungen an den Nut- bzw. Fußlängszähnen weggenommen werden und auf flachere Bereiche der Nut bzw. des Fußes verteilt werden sollen. Konstruktionsbedingt ist ein formschlüssiges Hintergreifen der Fußlängszähne durch die Nutlängszähne nicht in allen Belastungsphasen des Turbinenrads möglich, was Reibverschleiß, vor allem beim Lastwechsel, an den Kontaktflächen von Nut und Fuß mit sich bringt.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines Turbinenrades für eine Strömungsmaschine, das eine besonders hohe mechanische Belastbarkeit, insbesondere hinsichtlich Langzeiteinwirkungen, aufweist. Weitere Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines Verfahrens zur Montage eines Turbinenrads für eine Strömungsmaschine, welches zu einer Befestigung mit besonders hoher mechanischer Belastbarkeit, insbesondere hinsichtlich Langzeiteinwirkungen, führt.

[0008] Erfindungsgemäß wird die auf ein Turbinenrad für eine Strömungsmaschine gerichtete Aufgabe gelöst durch ein Turbinenrad für eine Strömungsmaschine, umfassend ein Laufrad mit einer Umfangsfläche, die eine Befestigungsnut aufweist, und umfassend eine Laufschaufel mit einem Schaufelfuß, wobei die Laufschaufel an der Umfangsfläche des Laufrads befestigt ist, wobei der Schaufelfuß in die Befestigungsnut eingreift, wobei der Schaufelfuß mit einer Übergangspassung oder Presspassung in die Befestigungsnut eingepasst ist.

[0009] Das ISO-Toleranzsystem umfasst ein Grundtoleranzsystem, das die Größe der Toleranzen beinhaltet und ein Grundabmaßsystem, das die Lage der Toleranzen für Außen- und Innenmaße festlegt.

[0010] Durch Paarung von Außen- und Innenmaß-Toleranzen lassen sich Spielpassungen, Übergangspassungen und Presspassungen realisieren, wobei nur die beiden letztgenannten, die letztgenannte ausschließlich, "-Toleranzen", im Gegensatz zu "+Toleranzen", aufweisen, was bedeutet, dass ein mehr (Presspassung) oder weniger (Übergangspassung) ausgeprägtes Übermaß vorliegt.

[0011] Im Gegensatz zur für die Montage von Schaufeln in Laufräder sonst üblichen Spielpassung wird hier ganz gezielt eine andere Passung gewählt, nämlich eine Übergangs- oder eine Presspassung. Beabsichtigt ist eine formschlüssigere Kräfteübertragung und infolgedessen eine homogenere Belastung an den Kontaktflächen von Laufschaufelfuß und Befestigungsnut des Laufrads.

[0012] Bei Spielpassungen sind die Schaufeln unter Vollast durch die auftretenden Zentrifugalkräfte in ihrer Position fixiert. Bei Beschleunigung, Wiederbeschleunigung und Verzögerung jedoch tritt aufgrund von Spalten zwischen Schaufelfuß und Befestigungsnut Reibverschleiß an den Kontaktflächen auf. Bei der Übergangs- oder der Presspassung ist dies nicht so. Die Schaufel ist

jederzeit in ihrer Position fixiert.

[0013] Ein weiterer positiver Effekt des gewählten Passsystems betrifft Korrosion an den Oberflächen von Schaufelfuß und Befestigungsnut infolge des bei Spielpassung durch Spalte zwischen Schaufelfuß und Befestigungsnut strömenden Heißgases. Die durch die Übergangs- oder Presspassung erzielte Dichtigkeit macht eine spezielle Beschichtung der Oberflächen zum Schutz vor Korrosion überflüssig.

[0014] Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind Schaufelfuß und Befestigungsnut so ausgestaltet, dass mindestens 90% der der Befestigungsnut zugewandten Schaufelfußoberfläche an dieser Befestigungsnut anliegen. Die Ausgestaltung des Schaufelfußes ist hierbei nicht auf eine bestimmte Form, wie Tannenbaumprofil, Schwalbenschwanz- oder Hammerkopfprofil, festgelegt. Je größer die Kontaktfläche ist, desto stärker fallen die gewünschten Verbesserungen, wie formschlüssigere Kräfteübertragung, homogenere Belastung und geringere Korrosion aus, wodurch sich längere Standzeiten ergeben. Die bevorzugte Passung ist daher eine Presspassung mit 100% Kontakt zwischen Schaufelfußoberfläche und Befestigungsnut.

[0015] Vorteilhaft ist, dass eine Befestigung der Laufschaufel in Richtung des Verlaufs der Befestigungsnut im Laufrad nicht erforderlich ist. Der Wegfall einer solchen Arretierung, z.B. einer Axialfixierung bei einer Axialnut, führt, neben einer Reduzierung der Anzahl der Produktionsschritte und somit einer Reduzierung der Herstellkosten, sowie einer geringen Reduzierung der Masse des Drehsystems zu größerer Stabilität für Laufschaufel und Laufrad.

[0016] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung weist eine axiale Orientierung der Befestigungsnut im Laufrad auf. Gegenüber einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung, bei der die Befestigungsnut als Umfangsnut ausgeführt ist, kann der Einbau bei der axialen Variante schneller erfolgen, so dass der für den Einbau notwendige Temperaturunterschied zwischen Schaufelfuß und Laufrad so gering wie möglich gewählt werden kann, was sich positiv im Aufwand niederschlägt.

[0017] Bevorzugtermaßen weisen die Materialien von Laufrad und Laufschaufel dieselben LCF-Werte, also dieselben Eigenschaften hinsichtlich Materialermüdung bei zyklischer Beanspruchung, auf. Weiterhin bevorzugt sind die Standzeiten von Laufrad und Laufschaufel in etwa gleich, wie z.B. bei der letzten Verdichter- oder Turbinenstufe. Obwohl ein Schaufeltausch bei eingebautem Turbinenrad durch lokales Kühlen bzw. Erwärmen möglich ist, wird in der Praxis das Turbinenrad ausgebaut werden müssen.

[0018] Die auf ein Verfahren gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Montage eines Turbinenrades für eine Strömungsmaschine, umfassend ein Laufrad mit einer Umfangsfläche, die eine Befestigungsnut aufweist, und umfassend eine Laufschaufel mit einem Schaufelfuß, wobei eine Laufschaufel und das Laufrad eines Turbinenrades, unmittelbar bevor

sie zusammengefügt werden, auf unterschiedliche Temperaturen gebracht werden.

[0019] Die Erfindung macht sich den Effekt zu nutze, dass sich die meisten Materialien bei Erwärmung ausdehnen und beim Abkühlen zusammenziehen. Der Schaufelfuß wird gezielt mit einem Übermaß versehen, so dass bei einer Referenztemperatur von Schaufelfuß und Befestigungsnut ein Einbau nicht möglich ist.

[0020] Vorzugsweise wird die Laufschaufel vor dem Einbau in das Laufrad gekühlt. Die Temperatur der kleineren Komponente zu ändern erfordert den geringsten mechanischen und energetischen Aufwand und kann am schnellsten durchgeführt werden.

[0021] Weiter bevorzugt wird das Laufrad vor dem Einbau der Laufschaufel erwärmt. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem Kühlen ist, dass sich kein Kondenswasser, wie am gekühlten Schaufelfuß ohne Schutzatmosphäre, bilden kann.

Weiter bevorzugt wird vor dem Einbau der Laufschaufel in das Laufrad, die Laufschaufel gekühlt und das Laufrad erwärmt. Die Kombination beider Methoden ist vor allem bei kleinen Schaufeln bzw. Laufrädern vorteilhaft, da hier die höchste Temperaturdifferenz von etwa 300°C bis 400°C erzielt werden muss, um die notwendigen thermischen Ausdehnungen bzw. Volumenabnahmen zu erzielen.

[0022] Die Erfindung wird beispielhaft anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen teilweise schematisch und nicht maßstäblich:

- FIG 1 eine Gasturbine,
- FIG 2 eine Laufschaufel und einen Ausschnitt einer Ansicht eines Laufrads vor der Montage,
- FIG 3 einen Ausschnitt einer Ansicht eines Turbinenrads während der Montage und
- FIG 4 einen Ausschnitt einer Ansicht eines Turbinenrads nach der Montage.

Gleiche Bezugszeichen haben in den verschiedenen Figuren die gleiche Bedeutung.

[0023] Figur 1 zeigt eine Gasturbine 1. Die Gasturbine 1 ist entlang einer Turbinenachse 10 gerichtet und weist entlang der Turbinenachse 10 aufeinander folgend einen Verdichter 3, eine Brennkammer 5 und ein Turbinenteil 7 auf. Der Verdichter 3 und das Turbinenteil 7 sind auf einer gemeinsamen Turbinenwelle 9 angeordnet. Im Turbinenteil 7 ist ein Heißgaskanal 12 gebildet, in den Laufschaufeln 11 und Laufschaufeln 13, die auf der Turbinenwelle 9 angeordnet sind, hinein ragen.

[0024] Im Betrieb der Gasturbine 1 wird vom Verdichter 3 Umgebungsluft 14 angesaugt und zu Verdichterluft 15 komprimiert. Die Verdichterluft 15 wird mit Brennstoff in der Brennkammer 5 zu Heißgas 17 verbrannt, welches durch den Heißgaskanal 12 strömt. Dabei versetzt es über die Wirkung auf die Laufschaufeln 13 die Turbinenwelle 9 in Bewegung. Die Rotationsenergie der Turbinenwelle 9 kann z.B. zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden.

[0025] Figur 2 zeigt eine Laufschaufel 31, bestehend aus einem Schaufelfuß 32 mit einer Schaufelfußoberfläche 35, einer Schaufelplattform 33, die den Abschluss des darunterliegenden Schaufelfußes 32 bildet, und einem Schaufelblatt 34. Ferner zeigt Figur 2 den Ausschnitt einer Ansicht eines Laufrads 42 mit einer Umfangsfläche 43, Befestigungsnuten 44 und deren Oberflächen 45.

[0026] In Anlehnung an das ISO-Passsystem wird die Stelle maximaler Breite des Schaufelfußes 32 mit d_W (W für Welle) und die Stelle maximaler Breite der Befestigungsnut 44 mit d_B (B für Bohrung) bezeichnet.

[0027] Figur 2 zeigt Schaufelfuß 32 und Laufrad 42 vor der Montage bei einer Referenztemperatur T_R . Der Schaufelfuß 32 weist ein Übermaß auf: $d_W(T_R) > d_B(T_R)$.

[0028] Figur 3 zeigt einen Ausschnitt einer Ansicht eines Turbinenrads 41 während des Einbaus des Schaufelfußes 32 in die Befestigungsnut 44 eines erwärmten Laufrads 42. Die Befestigungsnut 44 ist wegen der im Vergleich zum Schaufelfuß 32 höheren Temperatur T des Laufrads 42 aufgeweitet: $d_W(T_R) < d_B(T)$, $T_R < T$. Der Schaufelfuß 32 kann problemlos in die Befestigungsnut 44 eingepasst werden (Einbauspiel).

[0029] Figur 4 zeigt einen Ausschnitt einer Ansicht eines Turbinenrads 41 nachdem der Schaufelfuß 32 in die Befestigungsnut 44 eingepasst worden ist und Schaufelfuß 32 und Befestigungsnut 44 bereits thermalisiert sind. Der vormalige Spalt zwischen Schaufelfußoberfläche 35 und Befestigungsnutoberfläche 45 ist aufgrund der Thermalisierung verschwunden: $d_W(T_R) = d_B(T_R)$. Wie dargestellt sind Schaufelfuß 32 und Befestigungsnut 44 hier auf Referenztemperatur T_R thermalisiert und es liegt eine Übergangspassung bzw. Presspassung vor mit vollständigem Kontakt zwischen Schaufelfußoberfläche 35 und Befestigungsnutoberfläche 45.

Patentansprüche

1. Turbinenrad (41) für eine Strömungsmaschine (1), umfassend ein Laufrad (42) mit einer Umfangsfläche (43), die eine Befestigungsnut (44) aufweist, und umfassend eine Laufschaufel (31) mit einem Schaufelfuß (32), wobei die Laufschaufel (31) an der Umfangsfläche (43) des Laufrads (42) befestigt ist, wobei der Schaufelfuß (32) in die Befestigungsnut (44) eingreift,
dadurch gekennzeichnet, dass der Schaufelfuß (32) mit einer Übergangspassung oder Presspassung in die Befestigungsnut (44) eingepasst ist.
2. Turbinenrad (41) nach Anspruch 1, bei dem mindestens 90% einer Schaufelfußoberfläche (35) an einer Befestigungsnutoberfläche (45) mit mindestens Übergangspassung anliegen.
3. Turbinenrad (41) nach einem der Ansprüche 1 und 2, bei dem die Befestigungsnut (44) axial verläuft.

4. Turbinenrad (41) nach einem der Ansprüche 1 und 2, bei dem die Befestigungsnut (44) als Umfangsnut ausgeführt ist.

5. Turbinenrad (41) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Materialien von Laufrad (42) und Laufschaufel (31) dieselben LCF-Werte aufweisen.

6. Verfahren zur Montage eines Turbinenrads für eine Strömungsmaschine, umfassend ein Laufrad (42) mit einer Umfangsfläche (43), die eine Befestigungsnut (44) aufweist, und umfassend eine Laufschaufel (31) mit einem Schaufelfuß (32),
dadurch gekennzeichnet, dass

- der Schaufelfuß (32) gegenüber der Temperatur des Laufrads (42) abgekühlt und/oder das Laufrad (42) gegenüber der Temperatur des Schaufelfußes (32) erwärmt wird, wobei der Schaufelfuß (32) bei einer Referenztemperatur T_R , bezogen auf die Befestigungsnut (44) im Laufrad (42), ein Übermaß aufweist,
- der Schaufelfuß (32) in die Befestigungsnut (44) im Laufrad (42) eingepasst wird und
- Schaufelfuß (32) und Laufrad (42) thermalisieren, so dass eine Übergangspassung oder eine Presspassung erzielt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der Schaufelfuß (32) gekühlt wird, bis eine Einpassung in die Befestigungsnut (44) erreicht wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem das Laufrad (42) erwärmt wird, bis eine Einpassung des Schaufelfußes (32) in die Befestigungsnut (44) des Laufrads (42) erreicht wird.

FIG 1

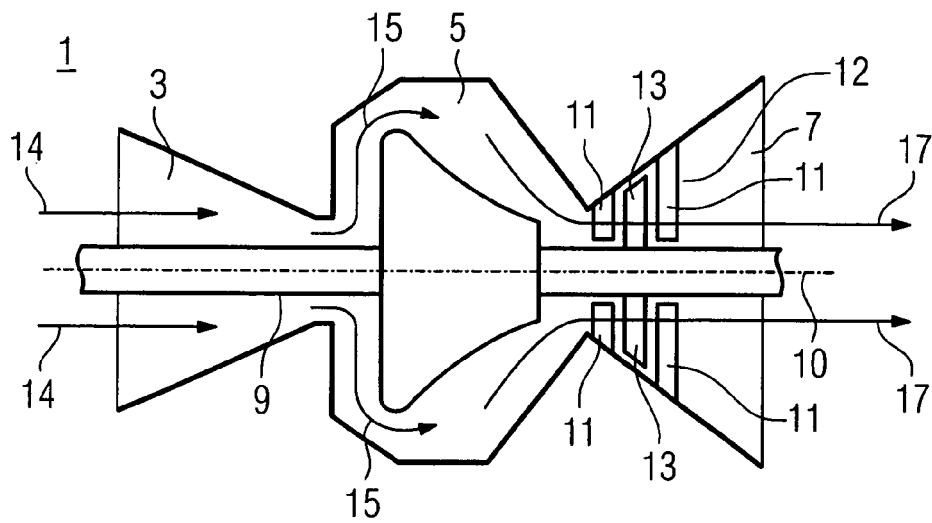


FIG 2

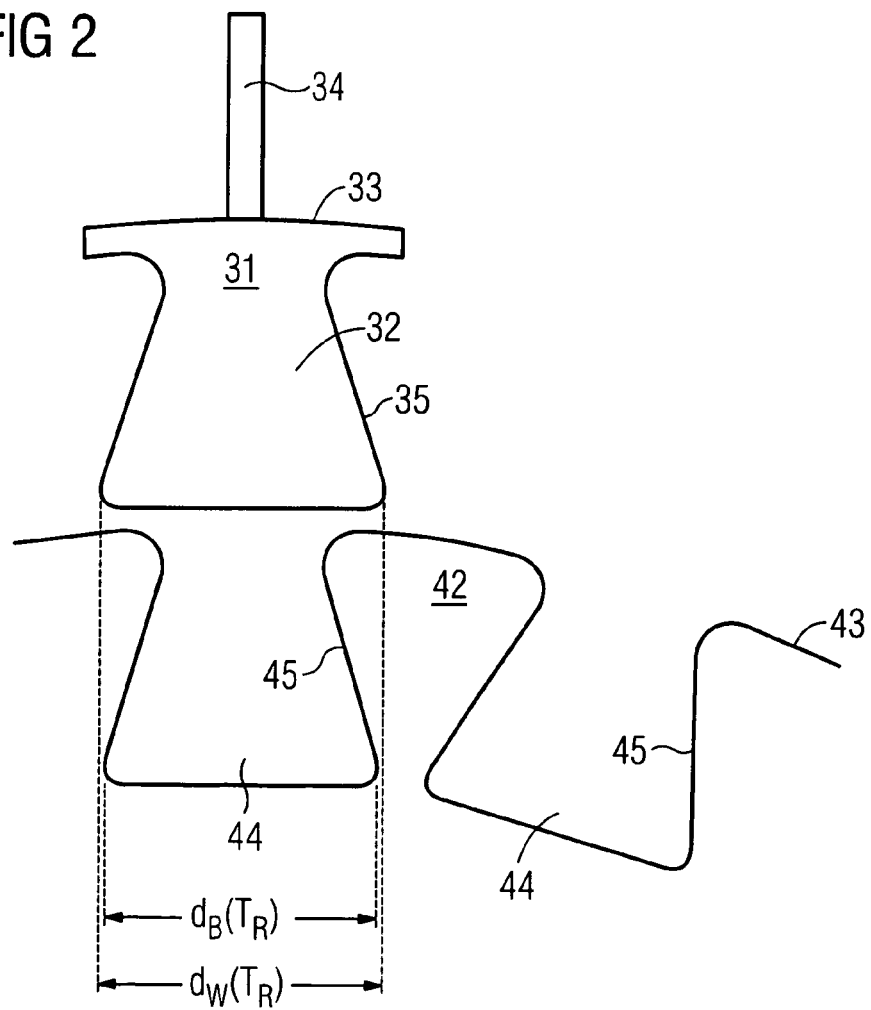


FIG 3

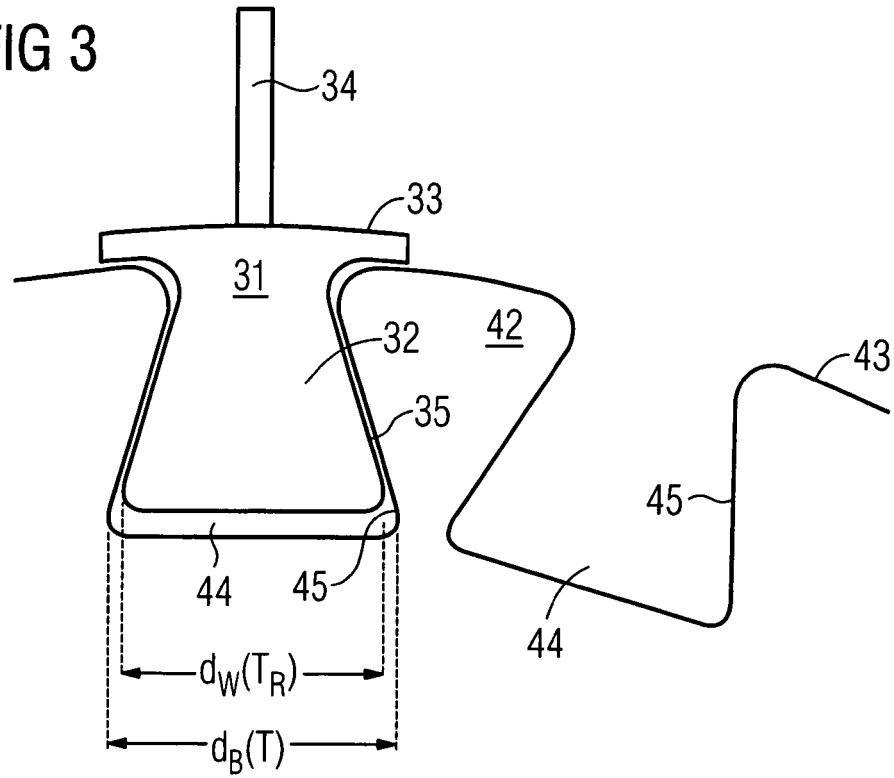
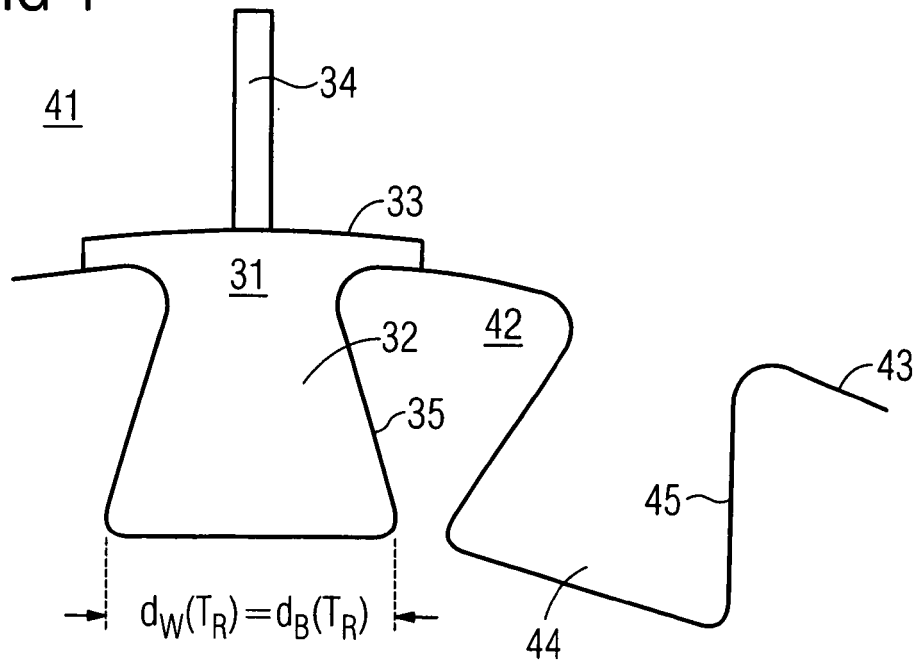


FIG 4





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 06 01 2298

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 196 19 316 A1 (VOITH HYDRO GMBH [DE] VOITH SIEMENS HYDRO POWER GENE [DE]) 20. November 1997 (1997-11-20) * Spalte 2, Zeile 17 - Zeile 33; Abbildungen *	1-8	INV. F01D5/30
X	JP 58 072604 A (HITACHI LTD) 30. April 1983 (1983-04-30) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1-5	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 27. Oktober 2006	Prüfer Raspo, Fabrice
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 06 01 2298

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-10-2006

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19619316 A1	20-11-1997	AT 405081 B AT 81997 A	25-05-1999 15-09-1998
JP 58072604 A	30-04-1983	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1058772 B1 [0004]
- EP 1122406 A2 [0006]